



Ingénieur Civil diplômé EPF
Assistant-Doctorant au Laboratoire des voies de circulation (LAVOC) à l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) dans le domaine de la réalisation et de la maintenance des voies de circulation.

Applicabilité des enrobés drainants sur les ouvrages d'art

Certaines réserves sont apparues concernant la mise en place de revêtements en enrobé drainant sur les ouvrages d'art du réseau des routes nationales suisses. La susceptibilité supposée accrue de ces ouvrages aux variations de température a été l'élément principal entravant l'application de l'enrobé drainant en surface des ponts. Néanmoins, l'emploi d'un revêtement drainant sur un pont peut se justifier pour maintenir la sécurité du trafic lorsque la chaussée est mouillée ou pour des raisons de réduction du bruit.

L'objectif de la présente étude a été d'évaluer l'applicabilité de l'enrobé drainant sur les ouvrages d'art en analysant le comportement hivernal du pont sur l'Arnon situé sur le km 10.050 de l'autoroute A5, ainsi que son écoulement d'eau de surface. Plusieurs sondes de mesure de température ont été installées à diverses profondeurs sur et dans le pont ainsi que dans la partie hors pont. Un appareil de mesure du rayonnement solaire et infrarouge a été installé sur un portique à proximité du pont en plus des sondes actives de surface induisant le déclenchement des alarmes lors d'un risque de gel. Les données ont été récoltées pendant deux hivers et utilisées dans un outil de modélisation prédisant l'évolution des températures de surface dans des situations extrêmes à partir des événements réels observés. L'emploi de cet outil a permis d'analyser un éventail de situations particulières.

Applicabilité des enrobés drainants sur les ouvrages d'art

Journée Technique LAVOC 2009

RYCHEN Patrick



Laboratoire des voies de circulation (LAVOC)
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)



Journée Technique LAVOC 2009



01/09/2009

2

Table des matières

- *Objectifs de la recherche*
- *Méthodologie*
- *Etat de l'art*
- *Comportement hivernal*
- *Écoulement des eaux de surface*
- *Conclusions*



01/09/2009

3

Table des matières

- **Objectifs de la recherche**
- *Méthodologie*
- *Etat de l'art*
- *Comportement hivernal*
- *Ecoulement des eaux de surface*
- *Conclusions*



01/09/2009

4

Objectifs de la recherche

- *Avantages des couches de roulement en enrobés drainants :*
 - Amélioration de la sécurité routière sur chaussée mouillée
 - Réduction des émissions sonores
- *Réticences quant à l'emploi des enrobés drainants sur les ouvrages d'art :*
 - Entretien hivernal (salage moins efficace)
 - Susceptibilité des ouvrages aux variations de température
 - Joints de chaussée (résurgences d'eau)
- *Application sur les ouvrages d'art justifiée :*
 - Maintien d'un système cohérent et continu du revêtement
- *Objectifs du projet de recherche :*
 - Evaluation de l'applicabilité de l'enrobé drainant sur les ouvrages d'art (comportement hivernal, écoulement des eaux de surface, etc.)



01/09/2009

5

Table des matières

- *Objectifs de la recherche*
- **Méthodologie**
- *Etat de l'art*
- *Comportement hivernal*
- *Ecoulement des eaux de surface*
- *Conclusions*



01/09/2009

6

Méthodologie

- *Etape 1 – Etat de l'art :*
 - Recherche littérature
 - Contacts et enquête auprès de professionnels de la route
 - Analyse des statistiques d'accidents
- *Etape 2 – Comportement hivernal :*
 - Instrumentation du pont sur l'Arnon et partie hors pont (A5)
 - Collecte des données pour l'analyse du comportement hivernal (A5 et A9) lors des hivers 2005/2006 et 2006/2007
 - Evaluation du comportement hivernal
 - Mise au point d'un outil de modélisation du comportement hivernal
- *Etape 3 – Ecoulement des eaux de surface :*
 - Instrumentation du pont sur l'Arnon et partie hors pont (A5)
 - Essais d'arrosage in situ & essai de perméabilité en labo
 - Evaluation de l'écoulement des eaux de surface



01/09/2009

7

Table des matières

- *Objectifs de la recherche*
- *Méthodologie*
- ***Etat de l'art***
- *Comportement hivernal*
- *Ecoulement des eaux de surface*
- *Conclusions*



01/09/2009

8

Expériences nationales et internationales

- *Observations particulières lors de périodes hivernales :*
 - Sensibilité thermique accrue : apparition précoce de verglas, apparition plus fréquente de givre, températures extrêmes plus importantes, etc.
 - Entretien hivernal plus délicat à équivalent
 - Salage (préventif) moins efficace que sur enrobé traditionnel
 - Enneigement plus marqué au début des précipitations et, lors de la fonte
- *Observations lors de fortes pluies :*
 - Risque d'aquaplaning fortement réduit, meilleure adhérence, absence de projections d'eau, visibilité accrue, diminution de ces phénomènes avec l'âge du revêtement, etc.
- *Autres :*
 - Problèmes pour ouvrages en courbes (solicitations tangentielles)



01/09/2009

9

Accidentologie

- Analyse des données d'accident du réseau des routes nationales du canton de Vaud lors des périodes hivernales 1994/1995 à 2004/2005
- Analyse pour différents états de la chaussée : route sèche, humide, mouillée, enneigée ou verglacée
- Analyse des accidents sur ouvrages d'art
- Comparaison avant-après mise en place d'un enrobé drainant
- Calcul du taux d'accident selon norme SN 640 009a "Accidents de la circulation routière - Localisation et classement de points noirs"

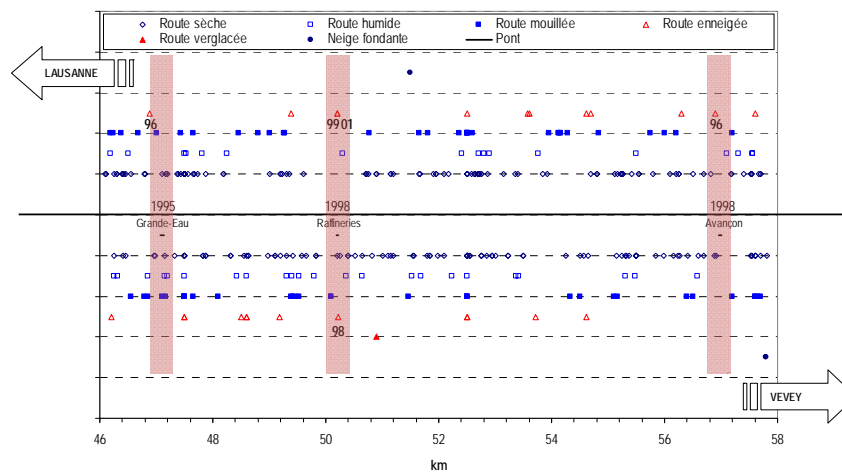


01/09/2009

10

Accidentologie

- Vaud – A9 – 1995-2004 – km 46 à 58 :





01/09/2009

11

Accidentologie

- *Conclusions de l'accidentologie :*
 - Très peu d'accidents sur les ouvrages d'art dans des conditions jugées problématiques quel que soit le type de revêtement
 - Aucune différence nette entre le nombre d'accidents avant et après la mise en place de l'enrobé drainant
 - Accidents sur route verglacée ou enneigée dus à d'autres facteurs que le type de revêtement (tracé, type de pont, etc.)
 - Diminution du nombre d'accident sur chaussée mouillée en enrobé drainant par rapport à un enrobé traditionnel



01/09/2009

12

Table des matières

- *Objectifs de la recherche*
- *Méthodologie*
- *Etat de l'art*
- ***Comportement hivernal***
- *Ecoulement des eaux de surface*
- *Conclusions*



01/09/2009

13

Comportement hivernal

- *Analyse du comportement hivernal à l'aide de deux sites instrumentés et de la modélisation :*
 - Pont sur l'Arnon (A5) :
 - Comparaison enrobé drainant (PA11) sur ouvrage d'art – enrobé drainant (PA11) sur remblai
 - Autoroute A9 à Ardon
 - Comparaison enrobé drainant sur remblai – enrobé traditionnel sur remblai
 - Modélisation
 - Comparaison générale

	Ouvrage d'art	Remblai
Enrobé drainant	Arnon	Ardon
Enrobé traditionnel	Modélisation	

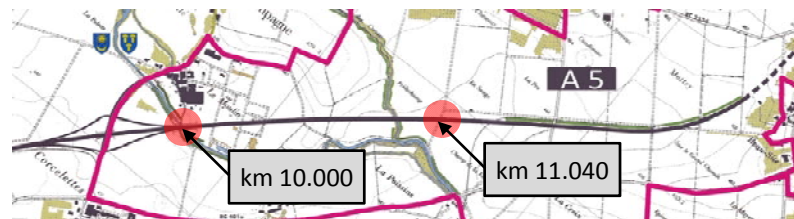


01/09/2009

14

Pont sur l'Arnon (A5)

- *Situation :*
 - A5 Yverdon-les-Bains – Neuchâtel
 - Pont sur le cours d'eau Arnon, près de Champagne
 - km 10.000 pour mesures sur pont et sur remblai
 - km 11.040 pour mesures rayonnement solaire



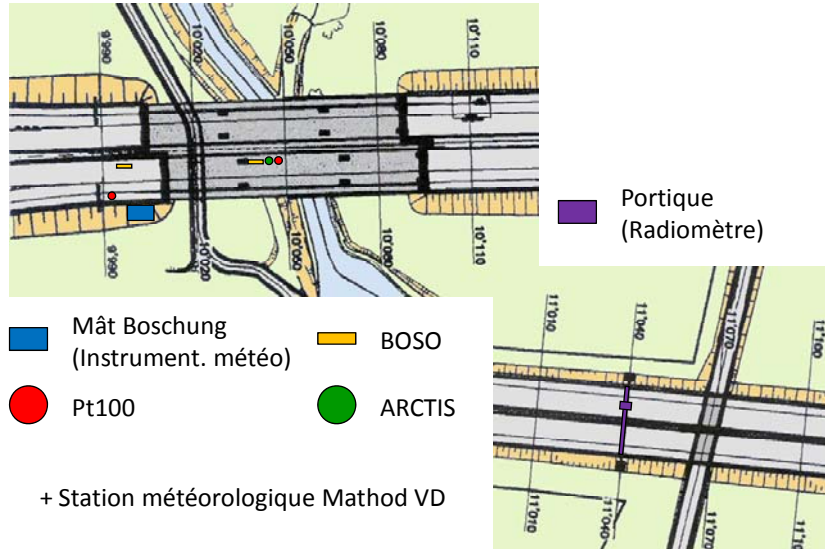


01/09/2009

15

Pont sur l'Arnon (A5)

- *Instrumentation :*



01/09/2009

16

Analyse du comportement hivernal

- *Période d'analyse :*
 - Hiver 2005/2006 (à partir de 01.01.05) => hiver très froid
 - Hiver 2006/2007 => hiver doux
- *Analyse des données météorologiques récoltées*
- *Analyse des alarmes utilisée par les centres d'entretien*
- *Analyse de certains événements ordinaires et spéciaux*

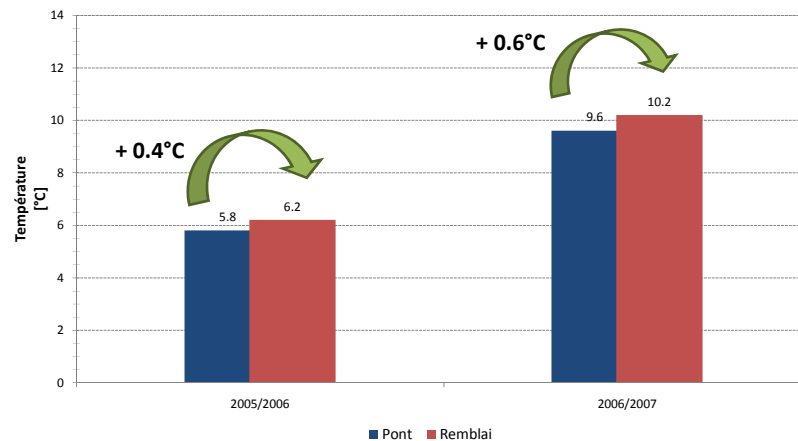


01/09/2009

17

Analyse du comportement hivernal

- *Comparaison entre les températures de surface pont-remblai :*
— Température moyenne de la surface

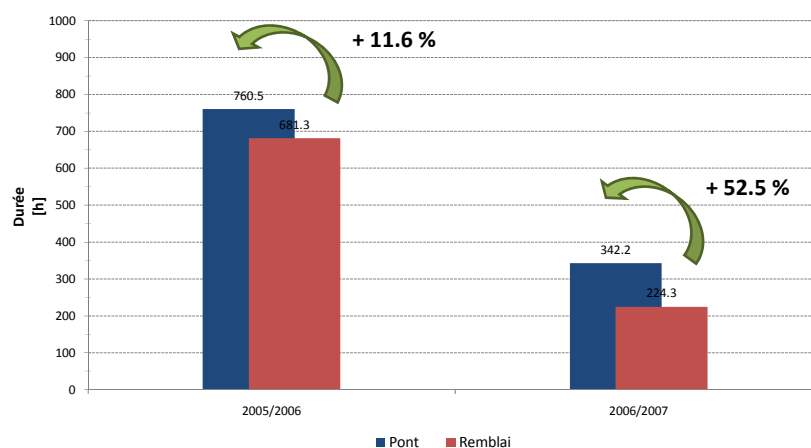


01/09/2009

18

Analyse du comportement hivernal

- *Comparaison entre les températures de surface pont-remblai :*
— Durée pour laquelle la température de surface est inférieure à 0 °C



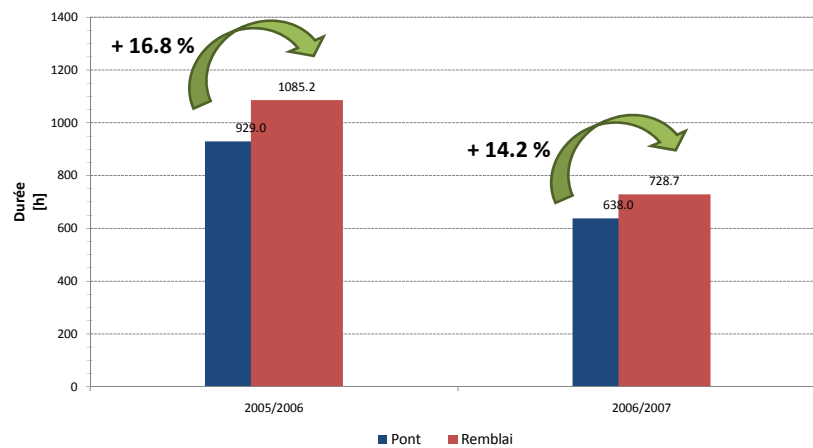


01/09/2009

19

Analyse du comportement hivernal

- *Comparaison entre les états de chaussées pont-remblai :*
 - Durée pour laquelle la surface est humide/mouillée

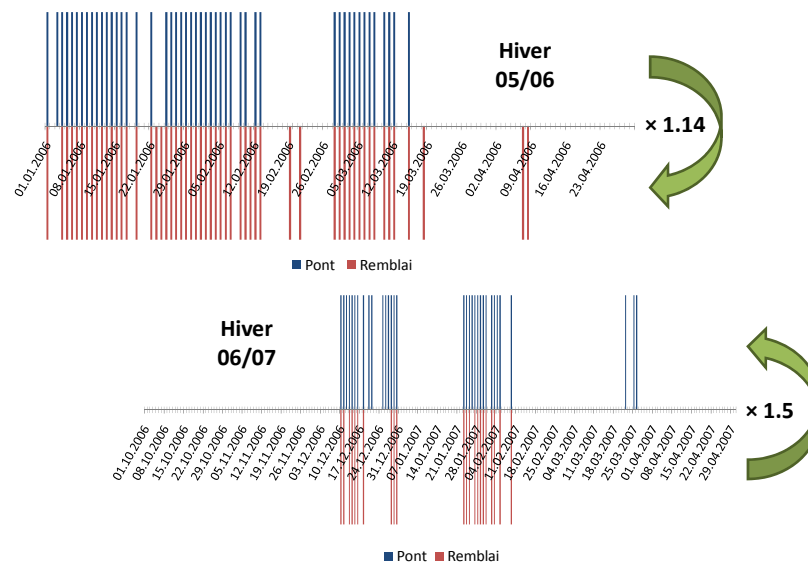


01/09/2009

20

Analyse du comportement hivernal

- *Journées présentant des situations d'alarme 1 :*





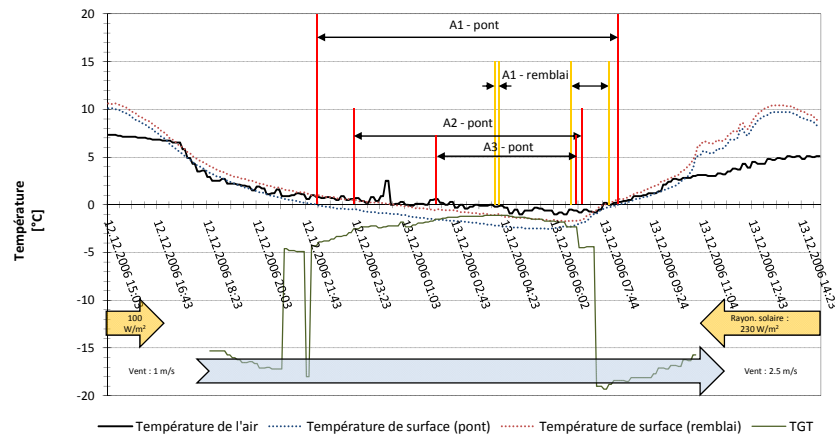
01/09/2009

21

Analyse du comportement hivernal

• Événement 1 – Nuit du 12 au 13 décembre 2006 :

- $T_{\text{surface pont}} < T_{\text{surface remblai}}$
- Chaussée humide sur pont sans précipitations
- Ciel dégagé pendant la nuit et vent très faible et régulier



01/09/2009

22

Analyse du comportement hivernal

• Conclusions de l'analyse du comportement hivernal de la planche d'essai sur l'A5 :

- La température moyenne de surface du pont est inférieure à la température moyenne de surface sur remblai
- Lors de périodes froides, la température de surface du pont est toujours plus faible que celle du remblai
- Lors de périodes plus chaudes, la température de surface du pont peut être plus élevée que celle du remblai, principalement lors de périodes fortement ensoleillées
- La différence de température entre la surface du pont et la surface du remblai est d'autant plus marquée pour des valeurs négatives extrêmes de la température de l'air
- L'état de la surface de la partie hors pont est plus souvent "mouillé" ou "humide" que la surface du pont
- L'analyse des situations d'alarme indique certains phénomènes contradictoires d'un hiver à l'autre
- L'analyse des événements particuliers ne permet pas d'affirmer qu'il existe un risque accru sur pont ou sur remblai



01/09/2009

23

Autoroute A9 à Ardon

- *Situation : Autoroute A9, tronçon Riddes – Sion, près d'Ardon*
 - *Historique : En 2002, remplacement enrobé traditionnel (AC) par enrobé drainant (PA)*
 - *Instrumentation (mesures depuis 1992) :*
 - Température de l'air
 - Humidité relative
 - Température de la chaussée à 50, 100, 200, 300 et 350 mm
 - Rayonnement solaire et infrarouge
 - *Objectifs :*
 - Recherche de conditions météorologiques identiques avant-après changement revêtement
- => comparaison enrobé drainant sur remblai – enrobé traditionnel sur remblai

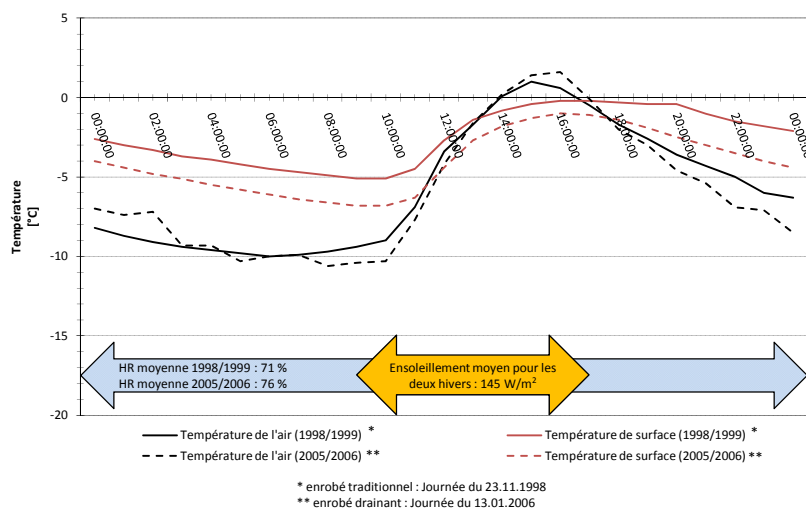


01/09/2009

24

Autoroute A9 à Ardon

- *Exemple d'une comparaison avant-après :*
 - Période de froid extrême



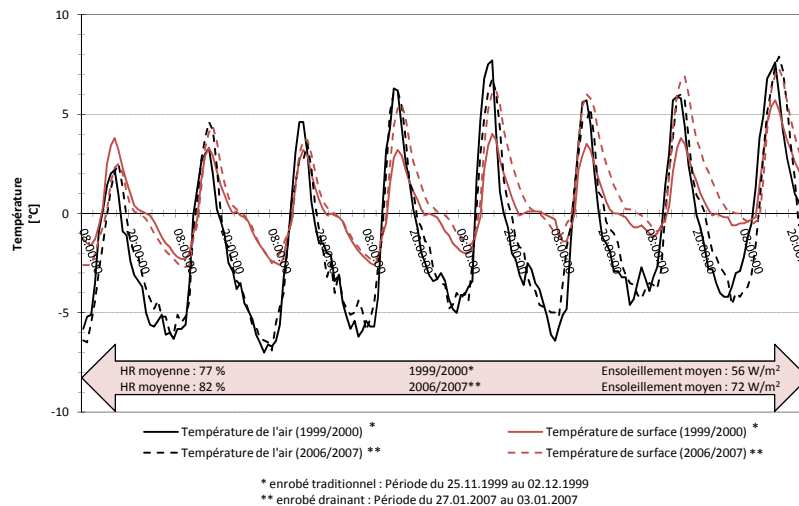


01/09/2009

25

Autoroute A9 à Ardon

- Exemple d'une comparaison avant-après :
 - Période de froid prolongé



01/09/2009

26

Autoroute A9 à Ardon

- Conclusions de la comparaison du comportement hivernal de la planche d'essai sur l'A9 :
 - La susceptibilité thermique de l'enrobé drainant est plus élevée que pour l'enrobé traditionnel
 - La température de surface de l'enrobé drainant est plus proche de la température de l'air
 - Lors de chutes de température, ou lors de périodes couvertes, l'enrobé drainant se refroidit plus rapidement
 - Lors des remontées de température, ou lors de périodes ensoleillées, l'enrobé drainant se réchauffe plus rapidement
 - La possibilité d'emmagasinier de la chaleur est très différente pour les deux enrobés

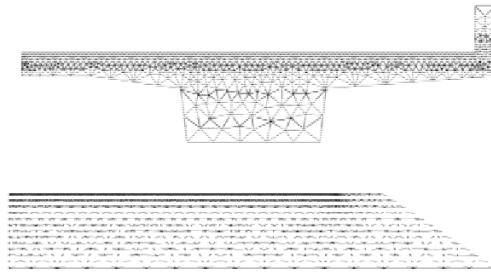


01/09/2009

27

Modélisation du comportement hivernal

- Analyse générale du comportement hivernal des enrobés drainants et traditionnels sur pont et remblai à l'aide d'un outil de modélisation
- Etapes : Elaboration, calibration et exploitation d'un modèle numérique en éléments finis servant à la simulation du comportement thermique des chaussées sous l'influence de sollicitations météorologiques

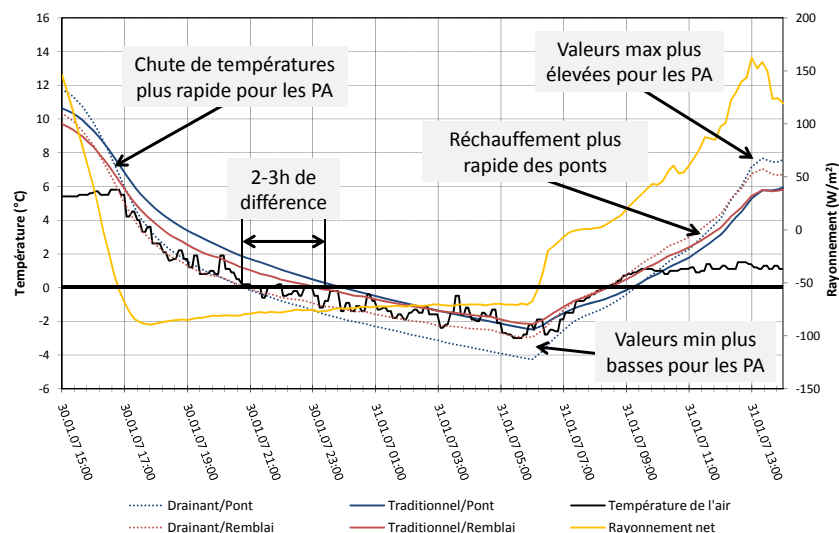


01/09/2009

28

Modélisation du comportement hivernal

- Modélisation d'un événement réel :



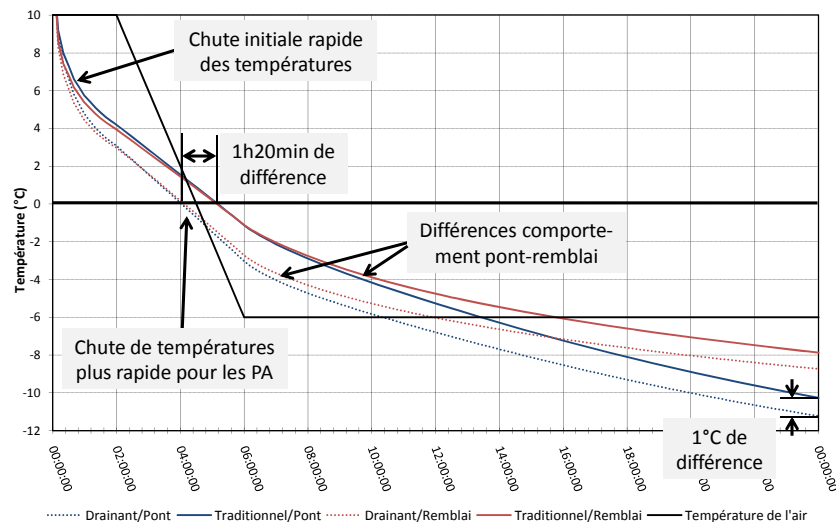


01/09/2009

29

Modélisation du comportement hivernal

• Modélisation d'un événement fictif :



01/09/2009

30

Modélisation du comportement hivernal

• Conclusion de la modélisation du comportement hivernal :

- Les enrobés drainants sont plus susceptibles aux variations de la température de l'air => vitesses de refroidissement/réchauffement plus élevées
- Lors de périodes froides, les températures de surface sont plus faibles sur pont que sur remblai, et ceci aussi bien pour les enrobés drainants que pour les traditionnels
- Sur pont, et en cas de refroidissement rapide de la chaussée, la température en surface de l'enrobé drainant est inférieure par rapport à l'enrobé traditionnel (jusqu'à 2°C)
- Les températures en surface des enrobés drainants et traditionnels sont proches dans le cas :
 - d'un brassage important de l'air en contact avec la chaussée (vent fort ou trafic)
 - d'événements de froid prolongé



01/09/2009

31

Table des matières

- *Objectifs de la recherche*
- *Méthodologie*
- *Etat de l'art*
- *Comportement hivernal*
- ***Ecoulement des eaux de surface***
- *Conclusions*



01/09/2009

32

Essais d'arrosage

- *Situation : Autoroute A5, sur et près du pont sur l'Arnon*
- *Objectifs :*
 - Etude du comportement hydrique de la structure
 - Observation qualitative de l'écoulement de l'eau (stagnations, résurgences, ruissellements et évacuation de l'eau de pluie)
 - Mise en évidence des écoulements particuliers au droit du joint de liaison du pont
- *Campagnes de mesure :*
 - Journée du 26 avril 2005
 - Journée du 11 mai 2005

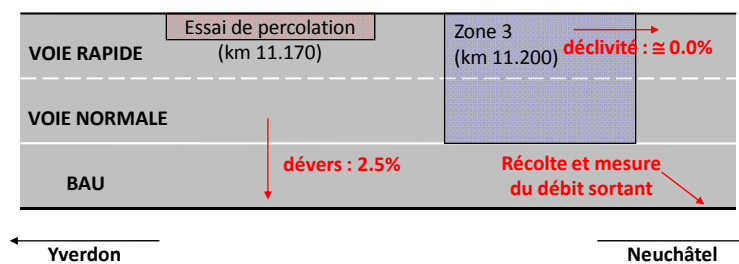


01/09/2009

35

Essais d'arrosage hors pont

- *Journée du 11 mai 2005 :*
 - Arrosage d'un profil en travers type
 - deux voies
 - sans la BAU
 - dévers longitudinal et transversal limités
 - Détermination du temps de percolation
 - Détermination du débit de saturation de la structure
 - Repérage des zones de drainabilité différentes



01/09/2009

36

Essais d'arrosage hors pont

- *Résultats essai de percolation hors pont :*
 - Arrosage linéaire



Profil en travers des résurgences



Premières résurgences



01/09/2009

37

Essais d'arrosage hors pont

- Résultats essai de saturation hors pont :
 - Intensité : 27.4 mm/h

5min



15min



30min



53min

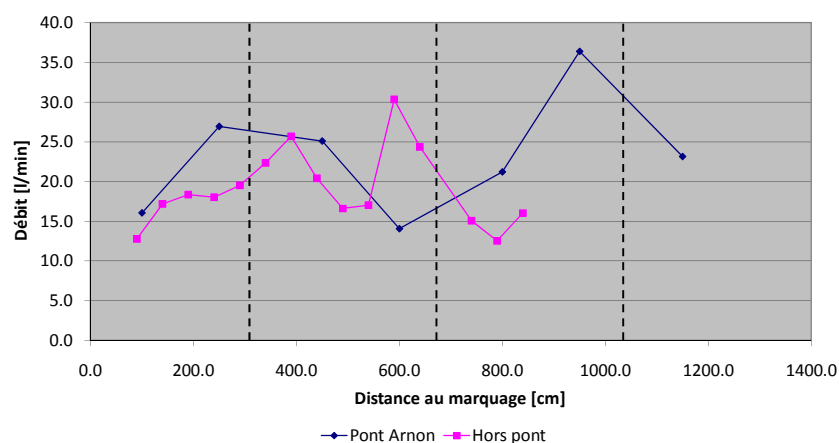


01/09/2009

38

Essai de perméabilité

- Résultats essai de perméabilité :





01/09/2009

39

Essais d'arrosage et de perméabilité

- *Conclusions des essais d'arrosage et de l'essai de perméabilité :*
 - L'écoulement de l'eau n'est pas affecté par le joint de transition du pont ; Les stagnations et/ou résurgences qui étaient attendues en amont du joint n'ont pas été observées
 - La saturation en surface disparaît rapidement à l'arrêt de l'arrosage ; La baisse rapide du débit drainé ne suit pas une loi classique de tarissement théorique d'une source
 - La perméabilité du revêtement drainant n'est pas homogène dans le sens transversal
 - Les valeurs absolues de perméabilité sont satisfaisantes et n'affectent pas par leur variabilité la qualité drainante de la structure



01/09/2009

40

Table des matières

- *Objectifs de la recherche*
- *Méthodologie*
- *Etat de l'art*
- *Comportement hivernal*
- *Écoulement des eaux de surface*
- **Conclusions**



01/09/2009

41

Conclusions

- *Conclusions générales :*
 - Avantages d'un enrobé drainant sur et hors pont en cas de pluie (! à la pose du revêtement)
 - Pas d'accroissement du taux d'accident lors du remplacement d'un enrobé traditionnel par un enrobé drainant en période hivernale, par contre, diminution de ce taux en période de pluie
 - Peu de comportements hivernaux qui distingue nettement la situation d'un enrobé drainant avec un enrobé traditionnel, sous certaines conditions l'un ou l'autre peut évoluer vers un risque hivernal
 - Sensibilité accrue du pont aux conditions météorologiques, mais l'enrobé drainant n'accroît pas cette problématique
- *Le projet de recherche n'a pas relevé de contrindications formelles à l'application d'un enrobé drainant sur ouvrage d'art, cependant, il a mis en évidence un certain nombre de paramètres*
- *Les avantages d'un enrobé drainant lors de périodes pluvieuses prédominent sur les inconvénients durant les périodes hivernales*



01/09/2009

42

Conclusions

- *Propositions pratiques :*
 - Procéder à une maintenance hivernale adaptée en agissant ponctuellement au plus tôt par des interventions de salage répétées sans surdosage en sel
 - Dans certains cas, étudier la possibilité de mettre en place une installation automatique de déverglaçage
 - Eviter de mettre en place un revêtement drainant sur les chaussées dont le tracé est en courbe/pente prononcée
 - Ne pas appliquer un revêtement drainant dans les endroits ou les chaînes à neige sont susceptibles d'être utilisées
 - Porter une attention spéciale à l'homogénéité de pose du revêtement drainant durant sa mise en place sur toute la longueur de la chaussée
 - Aménager des orifices efficaces dans le joint de dilatation du pont
- *Le principe de limitation de l'utilisation des enrobés drainants en altitude au-dessus de 600m (SN 640 433a) est à respecter*

Fin

Merci pour votre
attention ...

Journée Technique LAVOC 2009



01/09/2009

43

